

## REFLECTING TYPE EXPOSURE MASK, ITS MANUFACTURING METHOD AND SEMICONDUCTOR ELEMENT

**Publication number:** JP2002246299

**Publication date:** 2002-08-30

**Inventor:** TAKAHASHI MASASHI

**Applicant:** OKI ELECTRIC IND CO LTD

**Classification:**

- international: **G03F1/16; H01L21/027; G03F1/16; H01L21/02;** (IPC1-7): H01L21/027; G03F1/16

- european:

**Application number:** JP20010043720 20010220

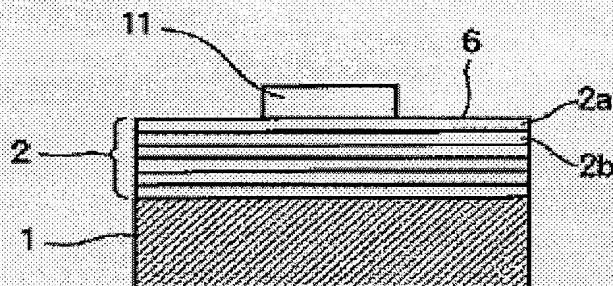
**Priority number(s):** JP20010043720 20010220

[Report a data error here](#)

### Abstract of JP2002246299

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a reflecting type exposure mask capable of suppressing a positional deviation of a mask pattern and improving a contrast at a mask examining time with a DUV light without affecting an adverse influence to resolution in the mask used for an EUV lithography.

**SOLUTION:** The reflecting type exposure mask comprises the mask pattern (5) formed on a multilayer film (2) having a relatively high reflectivity for a DUV light and having a relatively low reflectivity than that of the DUV light and formed of a tantalum oxide, an oxide of a tantalum alloy or an oxide of a nitrogen tantalum formed only on its surface vicinity part or entirely formed intentionally.



第 1 の実施の形態の反射型露光マスク

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-246299

(P2002-246299A)

(43) 公開日 平成14年8月30日 (2002.8.30)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テーマコード(参考)

H 0 1 L 21/027

G 0 3 F 1/16

A 2 H 0 9 5

G 0 3 F 1/16

H 0 1 L 21/30

5 3 1 M 5 F 0 4 6

審査請求 未請求 請求項の数15 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2001-43720(P2001-43720)

(22) 出願日 平成13年2月20日 (2001.2.20)

(出願人による申告) 国等の委託研究の成果に係る特許出願 (平成11年度新エネルギー・産業技術総合開発機構「超先端電子技術開発促進事業 (縮小超短波長電磁波パターンニング・システム技術)」委託研究、産業活力再生特別措置法第30条の適用を受けるもの)

(71) 出願人 000000295

沖電気工業株式会社

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号

(72) 発明者 高橋 政志

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気工業株式会社内

(74) 代理人 100083840

弁理士 前田 実

Fターム(参考) 2H095 BA10 BB06 BB25 BC13

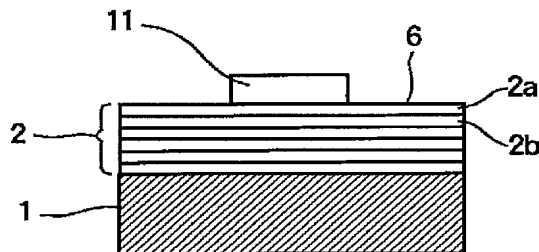
5F046 GD01 GD10 GD16

(54) 【発明の名称】 反射型露光マスク、反射型露光マスクの製造方法、及び半導体素子

(57) 【要約】

【課題】 EUVリソグラフィに用いられる反射型露光マスクにおいて、マスクパターンの位置ずれを抑制するとともに、解像度に悪影響を及ぼすことなく、DUV光によるマスク検査時のコントラストを向上させることができる反射型露光マスクを提供する。

【解決手段】 DUV光に対し比較的反射率が高い多層膜(2)上に形成される、DUV光に対し比較的反射率が低いマスクパターン(5)が、その表面近傍部分のみ又は全体が意図的に形成された酸化タンタル、タンタル合金の酸化物、窒素タンタルの酸化物で形成されている。



第1の実施の形態の反射型露光マスク

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 E U V リソグラフィに用いられる反射型露光マスクにおいて、  
基板上に形成された多層膜と、  
前記多層膜上に、少なくともその表面近傍部分が少なくとも主として酸化タンタルで形成されたマスクパターンとを有することを特徴とする反射型露光マスク。

【請求項 2】 前記マスクパターンは、その全体が少なくとも主として酸化タンタルで形成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の反射型露光マスク。

【請求項 3】 前記マスクパターンが、少なくとも主として酸化タンタルで形成されたターゲットを用いたスパッタ法、少なくとも主としてタンタルで形成されたターゲットを用い、酸素ガスを混合した反応性スパッタ法、又は C V D 法により形成されたものであることを特徴とする請求項 2 に記載の反射型露光マスク。

【請求項 4】 前記マスクパターンは、前記表面近傍部分以外の部分がタンタル、タンタル合金、又は窒化タンタルで形成された膜、或いはこれらの 2 種以上を積層することにより形成した積層膜で形成されており、前記酸化タンタルが意図的に形成されたものであることを特徴とする請求項 1 に記載の反射型露光マスク。

【請求項 5】 前記マスクパターンが、タンタル、タンタル合金又は窒化タンタルの膜、或いはこれらの 2 種以上を積層することにより形成した積層膜の表面近傍部分を意図的に酸化させることにより形成されたものであることを特徴とする請求項 4 に記載の反射型露光マスク。

【請求項 6】 前記酸化が、酸素を含んだガス雰囲気中での熱処理、又はプラズマ処理により行われたものであることを特徴とする請求項 5 に記載の反射型露光マスク。

【請求項 7】 前記マスクパターンが、タンタル、タンタル合金又は窒化タンタルの膜、或いはこれらの 2 種以上を積層することにより形成した積層膜から成る第 1 の層の上に、前記少なくとも主として酸化タンタルで形成された表面近傍部分を構成する第 2 の層を積層することにより形成されたものであることを特徴とする請求項 4 に記載の反射型露光マスク。

【請求項 8】 前記積層が、スパッタ法、C V D 法により行われたものであることを特徴とする請求項 7 に記載の反射型露光マスク。

【請求項 9】 前記多層膜が 2 種以上の材料層を周期的に積層させたものであることを特徴とする請求項 1 に記載の反射型露光マスク。

【請求項 10】 前記多層膜が、最上層がシリコン層となるように、シリコン層とモリブデン層とを周期的に積層した構造、又は最上層がベリリウム層となるように、ベリリウム層とモリブデン層とを周期的に積層した構造を有することを特徴とする請求項 9 に記載の反射型露光マスク。

【請求項 11】 E U V リソグラフィに用いられる反射型露光マスクの製造方法において、  
基板上に多層膜を形成する工程と、  
少なくとも主として酸化タンタルで形成されたターゲットを用いたスパッタ法、少なくとも主としてタンタルで形成されたターゲットを用い、酸素ガスを混合した反応性スパッタ法、又は C V D 法により、前記多層膜上に、少なくとも主として酸化タンタルで形成されたマスク材料膜を形成する工程と、

10 前記マスク材料膜をパターニングしてマスクパターン形成する工程とを含むことを特徴とする反射型露光マスクの製造方法。

【請求項 12】 E U V リソグラフィに用いられる反射型露光マスクの製造方法において、  
基板上に多層膜を形成する工程と、  
少なくとも主としてタンタルで形成されたターゲットを用いたスパッタ法、又は C V D 法により、前記多層膜上に、少なくとも主としてタンタルで形成された層を形成する工程と、

20 前記少なくとも主としてタンタルで形成された層の少なくとも表面近傍部分を酸化してマスク材料膜を形成する工程と、  
前記マスク材料膜をパターニングしてマスクパターン形成する工程とを含むことを特徴とする反射型露光マスクの製造方法。

【請求項 13】 前記酸化する工程が、前記少なくとも主としてタンタルで形成された層の全体を酸化することを特徴とする請求項 12 に記載の反射型露光マスクの製造方法。

30 【請求項 14】 E U V リソグラフィに用いられる反射型露光マスクの製造方法において、  
基板上に多層膜を形成する工程と、  
少なくとも主としてタンタルで形成されたターゲットを用いたスパッタ法、又は C V D 法により、前記多層膜上に、少なくとも主としてタンタルで形成された第 1 の層を形成する工程と、  
少なくとも主として酸化タンタルで形成されたターゲットを用いたスパッタ法、少なくとも主としてタンタルで形成されたターゲットを用い、酸素ガスを混合した反応性スパッタ法、又は C V D 法により、前記第 2 の膜上に、少なくとも主として酸化タンタルで形成された第 2 の膜を形成する工程と、

40 前記第 1 の膜及び前記第 2 の膜をパターニングしてマスクパターンを形成する工程とを含むことを特徴とする反射型露光マスクの製造方法。

【請求項 15】 請求項 1 乃至 10 のいずれかに記載の反射型露光マスクを用いた E U V リソグラフィによって製造された半導体素子。

【発明の詳細な説明】

50 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、波長が10～15 [nm] 付近のEUV (Extreme UltraViolet rays: 極端紫外線) を光源としたEUVリソグラフィに用いられる反射型露光マスク、その製造方法、および上記反射型露光マスクを用いたEUVリソグラフィによって製造される半導体素子に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体素子の高集積化につれて、100 [nm] 以下の極微細加工を可能にする新たなプロセス技術の確立が急務になっている。リソグラフィ技術でも光源の短波長化によって光学的な解像力の向上を図るため、従来の水銀ランプやエキシマレーザによる紫外線と比べて、波長が10～15 [nm] 程度と1桁以上も短いEUVを光源に用いて高解像化を可能とするEUVリソグラフィの開発が精力的に行われている。

【0003】EUV光は物質による吸収が非常に著しく、EUV光に対する物質の屈折率もほとんど真空の値に等しい。従って、EUVリソグラフィの露光装置の光学系には、「精密光学会誌第64巻第2号282頁～286頁(1998年)」に記載されたように、凸面鏡と凹面鏡を組み合わせた反射光学系が用いられる。また、露光マスクについても、ガラスレチクルのような透過型では吸収によるEUV光の強度低下が著しいことから、反射型露光マスクが用いられる。

【0004】図13は従来のEUVリソグラフィ用反射型露光マスクの断面構造図である。図13の従来の反射型露光マスクは、下地基板1上に多層膜2を形成し、この多層膜2上に金属膜からなるマスクパターン3を形成したものである。EUVリソグラフィにおいて、マスクパターン3は、EUV光の吸収領域(吸収体)として機能し、非パターン領域(マスクパターン3が形成されていない領域であり、多層膜2の露出領域)6は、EUV光の反射領域(反射体)として機能し、半導体ウエハに塗布されたEUVリソグラフィ用フォトリソレジスト(EUV領域に感光性をもつレジスト)上に形成するEUV露光像に、露光コントラストを生じさせる。

【0005】反射体として機能する多層膜2は、反射型露光マスクの表面にほとんど直角に入射したEUV光に対して高い反射率を得るために、EUV光の波長に対する屈折率が互いに大きく異なった2種類以上の材料層を周期的に積層させた構造である。この多層膜2には、シリコン(Si)層2aが最上層(表層)となるようにEUV光に対する屈折率が互いに異なるSi層2aとモリブデン(Mo)層2bとを周期的に積層させた構造が広く用いられている。この周期的積層構造は、Mo層2b上にSi層2aを積層させた構造を基本周期構造とし、上記の基本周期構造を30ないし40周期積層させたもので、上記基本周期構造の厚さは、EUV光の波長の約半分とする。このようなMo/Si構造の多層膜2で \*

\*は、波長が13.5 [nm] 付近のEUV光に対して最大約70 [%] の反射率が得られる。

【0006】また、吸収体として機能するマスクパターン3は、パターン加工された金属膜からなる。この金属膜としては、EUV光の吸収が高く、パターン加工も容易であるタンタル(Ta)膜や、Taを主成分とする合金膜(タンタル合金膜)、例えば、Taとゲルマニウム(Ge)の合金膜(以下、Ta/Ge合金膜と称する)、TaとSiの合金膜(以下、Ta/Si合金膜と称する)、Taとボロン(B)の合金膜(以下、Ta/B合金膜と称する)などが有力な候補として挙げられている。

【0007】図14は従来のEUVリソグラフィ用反射型露光マスクの製造工程を説明する図である。まず、図14(a)のように、下地基板1上にスパッタリング法などによって多層膜2を形成し、この多層膜2上にスパッタリング法またはCVD法によってマスク材料膜としてTa膜4を形成する。次に、図14(b)のように、Ta膜4上にレジストを塗布し、電子線やレーザ光の走査による露光および現像によって所望のレジストパターン5を形成する。次に、図14(c)のように、ブラズマドライエッチング法などによって、レジストパターン5をエッチングマスクとしてTa膜4をパターンニングし、そのあとレジストパターン5を除去して、Ta膜4からなるマスクパターン3を形成する。なお、多層膜2とTa膜4の間に、バッファ層として酸化シリコン膜などが挿入されている場合もある。この場合には、非パターン領域6内のバッファ層は、図14(c)でのTa膜4のパターンニングの際に除去される。

【0008】上記のように製造された反射型露光マスクは、マスク検査工程において、マスクパターン3が所望の寸法に形成されているか否かなどが検査される。この反射型露光マスクの検査では、EUV領域の光ではなく、波長150～350 [nm] 程度のDUV (Deep UltraViolet rays: 遠紫外線) 領域の光を反射型露光マスクの表面に照射する検査装置が用いられる。

【0009】図15はEUVリソグラフィ用反射型露光マスクの検査工程を説明する図である。図15において、DUV領域の入射光のビームスポットをI<sub>int</sub>とし、この入射光I<sub>int</sub>に対し、マスクパターン3の表面で反射した光をR<sub>ta</sub>、非パターン領域6の多層膜2の表面(ここでは、多層膜2の最上層をアモルファスSi層とする)で反射した光をR<sub>si</sub>とする。

【0010】上記の検査工程では、図15のように、DUV領域の光I<sub>int</sub>を反射型露光マスクの表面に照射し、マスクパターン3からの反射光R<sub>ta</sub>と、非パターン領域6からの反射光R<sub>si</sub>との光量を測定し、マスクコントラスト値MCを求める。このマスクコントラスト値MCは、

$$MC [\%] = \{ (R_{si} - R_{ta}) / (R_{si} + R_{ta}) \} \times 100 \cdots (1)$$

で定義される。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかしTaは膜応力の制御が非常に難しい材料でもある。その理由として大気中で経時変化を起こすことが挙げられる。これは大気中に含まれる酸素がTaの結晶粒界を拡散しながらTaを酸化する為、圧縮応力が増加すると一般に考えられている。このような特性を持つ材料をマスクパターン用金属薄膜として使用すると、マスクパターン形成後の応力変化によりマスクパターンの輪郭の位置ずれが起こる。その結果設計した通りのマスクパターンが形成できなくなる。またもう一つの問題点としてマスクパターンをTaで形成した場合、マスクパターン検査が難しいことが挙げられる。これは以下の理由による。即ち、上記従来の反射型露光マスクでは、マスクパターンの表面反射率が十分に低くならないために、マスクコントラスト値についての要求を十分に満足させることができないという問題がある。このため、マスクパターンの表面反射率をさらに低くすることが望まれている。

【0012】一般に、マスクパターンの吸収体膜（金属膜）の表面粗さが大きいと、DUV光Intがマスクパターン表面で乱反射するため、反射光Rtaの光量は低下する。従って、吸収体膜の表面粗さを大きくすれば、マスクコントラストおよびEUV露光像のコントラストを高くすることが可能である。しかし、上記吸収体膜の表面粗さを大きくすると、膜厚ムラも大きくなり、膜厚の薄い場所ではEUV光の吸収能が小さくなるため、EUVリソグラフィでの解像度に悪影響を及ぼす。従って、上記吸収体膜の表面は可能な限り滑らかに保持し、かつ表面反射率を低下させる必要がある。

【0013】この課題に対し、吸収体として窒化タンタル（記号：Ta<sub>N</sub>）を用いて解決する方法が提案された（特願2000-048654）。これにより、MC値をタンタルを用いた場合よりも向上させることができた。しかしながら微細なパターンを精度良く測定するには、MC値のさらなる向上が必要である。

【0014】本発明は、このような従来の課題を解決するためになされたものであり、大気中での経時変化を抑制することによりマスクパターンの位置ずれを抑制するとともに、解像度に悪影響を及ぼすことなく、DUV光によるマスク検査時のコントラストを向上させることができる反射型露光マスクを提供することを目的とする。

【0015】本発明の他の目的は、上記のような反射型露光マスクの製造方法を提供することにある。

【0016】本発明のさらに他の目的は、上記のような反射型露光マスクを用いて製造された半導体素子を提供することにある。

【0017】

【課題を解決するための手段】本発明は、EUVリソグラフィに用いられる反射型露光マスクにおいて、基板上

に形成された多層膜と、前記多層膜上に、少なくともその表面近傍部分が少なくとも主として酸化タンタルで形成されたマスクパターンとを有することを特徴とする反射型露光マスクを提供するものである。

【0018】前記マスクパターンは、その全体が少なくとも主として酸化タンタルで形成されているものであっても良い。

【0019】前記マスクパターンが、少なくとも主として酸化タンタルで形成されたターゲットを用いたスパッタ法、少なくとも主としてタンタルで形成されたターゲットを用い、酸素ガスを混合した反応性スパッタ法、又はCVD法により形成されたものであっても良い。

【0020】前記マスクパターンは、前記表面近傍部分以外の部分がタンタル、タンタル合金、又は窒化タンタルで形成された膜、或いはこれらの2種以上を積層することにより形成した積層膜で形成されており、前記酸化タンタルが意図的に形成されたものであっても良い。

【0021】前記マスクパターンが、タンタル、タンタル合金又は窒化タンタルの膜、或いはこれらの2種以上を積層することにより形成した積層膜の表面近傍部分を意図的に酸化させることにより形成されたものであっても良い。

【0022】前記酸化が、酸素を含んだガス雰囲気中での熱処理、又はプラズマ処理により行われたものであっても良い。

【0023】前記マスクパターンが、タンタル、タンタル合金又は窒化タンタルの膜、或いはこれらの2種以上を積層することにより形成した積層膜から成る第1の層の上に、前記少なくとも主として酸化タンタルで形成された表面近傍部分を構成する第2の層を積層することにより形成されたものであっても良い。

【0024】前記積層が、スパッタ法、CVD法により行われたものであっても良い。

【0025】前記多層膜が2種以上の材料層を周期的に積層させたものであっても良い。

【0026】前記多層膜が、最上層がシリコン層となるように、シリコン層とモリブデン層とを周期的に積層した構造、又は最上層がベリリウム層となるように、ベリリウム層とモリブデン層とを周期的に積層した構造を有するものであっても良い。

【0027】本発明はまた、EUVリソグラフィに用いられる反射型露光マスクの製造方法において、基板上に多層膜を形成する工程と、少なくとも主として酸化タンタルで形成されたターゲットを用いたスパッタ法、少なくとも主としてタンタルで形成されたターゲットを用い、酸素ガスを混合した反応性スパッタ法、又はCVD法により、前記多層膜上に、少なくとも主として酸化タンタルで形成されたマスク材料膜を形成する工程と、前記マスク材料膜をパターニングしてマスクパターン形成する工程とを含むことを特徴とする反射型露光マスクの

製造方法を提供するものである。

【0028】本発明はまた、EUVリソグラフィに用いられる反射型露光マスクの製造方法において、基板上に多層膜を形成する工程と、少なくとも主としてタンタルで形成されたターゲットを用いたスパッタ法、又はCVD法により、前記多層膜上に、少なくとも主としてタンタルで形成された層を形成する工程と、前記少なくとも主としてタンタルで形成された層の少なくとも表面近傍部分を酸化してマスク材料膜を形成する工程と、前記マスク材料膜をパターンニングしてマスクパターン形成する工程とを含むことを特徴とする反射型露光マスクの製造方法を提供するものである。

【0029】前記酸化する工程が、前記少なくとも主としてタンタルで形成された層の全体を酸化するものであっても良い。

【0030】本発明はまた、EUVリソグラフィに用いられる反射型露光マスクの製造方法において、基板上に多層膜を形成する工程と、少なくとも主としてタンタルで形成されたターゲットを用いたスパッタ法、又はCVD法により、前記多層膜上に、少なくとも主としてタンタルで形成された第1の層を形成する工程と、少なくとも主として酸化タンタルで形成されたターゲットを用いたスパッタ法、少なくとも主としてタンタルで形成されたターゲットを用い、酸素ガスを混合した反応性スパッタ法、又はCVD法により、前記第2の膜上に、少なくとも主として酸化タンタルで形成された第2の膜を形成する工程と、前記第1の膜及び前記第2の膜をパターンニングしてマスクパターンを形成する工程とを含むことを特徴とする反射型露光マスクの製造方法を提供するものである。

【0031】本発明はさらに、上記の反射型露光マスクを用いたEUVリソグラフィによって製造された半導体素子を提供するものである。

【0032】

【発明の実施の形態】第1の実施の形態

図1は本発明の第1の実施の形態によるEUVリソグラフィ用反射型露光マスクの断面構造図である。

【0033】図1のように、第1の実施の形態の反射型露光マスクは、下地基板1上に多層膜2を形成し、この多層膜2上に酸化タンタル(TaO)膜からなるマスクパターン11を形成したものである。このように、第1の実施の形態の反射型露光マスクは、吸収体として機能するマスクパターンがTaO膜からなることを特徴としている。

【0034】EUVリソグラフィにおいて、TaO膜からなるマスクパターン11は、EUV光の吸収領域(吸収体)として機能し、非パターン領域(マスクパターン11が形成されていない領域であり、多層膜2の露出領域)6は、EUV光の反射領域(反射体)として機能し、半導体ウエハに塗布されたEUVリソグラフィ用フ

ォトレジスト(EUV領域に感光性をもつフォトレジスト)上に形成するEUV露光像に、露光コントラストを生じさせる。

【0035】反射体として機能する多層膜2は、EUV光の波長に対する屈折率が互いに大きく異なった2種類以上の材料層を周期的に積層させた構造である。ここでは、多層膜2は、最上層(表層)がシリコン(Si)層2aとなるようにEUV光に対する屈折率が互いに異なるSi層2aとモリブデン(Mo)層2bとを周期的に積層させた構造である。

【0036】図2は本発明の第1の実施の形態によるEUVリソグラフィ用反射型露光マスクの製造工程を説明する図である。

【0037】まず、図2(a)のように、下地基板1上にスパッタリング法などによって、Si層2aが最上層となるようにSi層2aとMo層2bとを周期的に積層させた多層膜2を形成する。さらに詳細には、Mo層2b上にSi層2aを積層させた構造を基本周期構造とし、上記の基本周期構造を30ないし40周期積層させる。また、上記基本周期構造の厚さは、EUV光の波長の約半分とする。このようなMo/Si構造の多層膜2では、波長が13.5[nm]付近のEUV光に対して最大約70[%]の反射率が得られる。

【0038】次に、図2(b)のように、多層膜2上にマスク材料膜としてTaO膜21を形成する。TaO膜21は、TaOターゲットを用いたスパッタリング法、Taターゲットを用いてスパッタリングする際に酸素ガスを混合した反応性スパッタリング法、CVD法などによって形成される。さらに他の方法として、スパッタリング法やCVD法によって形成したTa膜に対し、酸素を含むガス雰囲気での熱処理やプラズマ処理による酸化処理を施すことによって、TaO膜21を形成することもできる。

【0039】次に、図2(c)のように、TaO膜21上にレジストを塗布し、電子線やレーザー光の走査による露光および現像によって所望のレジストパターン5を形成する。

【0040】次に、図2(d)のように、プラズマドライエッチング法などによって、レジストパターン5をエッチングマスクとしてTaO膜21をパターンニングし、その後レジストパターン5を除去して、TaO膜21からなるマスクパターン11を形成する。

【0041】なお、多層膜2とTaO膜21の間に、バッファ層として図示しない酸化シリコン(SiO<sub>2</sub>)膜などが挿入されている場合もある。この場合には、非パターン領域6内のバッファ層は、図2(d)でのTaO膜21のパターンニングの際に除去される。

【0042】このようにして形成されたTaO膜は、Ta膜に比べ膜応力の経時変化が小さく、またTa膜やTa<sub>2</sub>N膜に比べEUV光に対する反射率が低いことが見出

された。この点につき、図3乃至図5を参照して説明する。

【0043】図3はスパッタ法により成膜したTa膜及び反応性スパッタ法により成膜したTaO膜の大気中での応力の経時変化を示したものである。この図から分かるように、反応性スパッタ法で形成されたTaO膜の方が大気中での膜応力経時変化が小さく、従ってそのようなTaO膜を用いれば、マスクパターン位置精度をTa膜を用いた場合よりも高くすることが可能となる。

【0044】図4はDUV光に対するTa、Ta<sub>N</sub>及びTaO膜の表面反射率を測定したものである。図4において、横軸はDUV光の波長、縦軸は表面反射率である。この表面反射率は、DUV光に対するSiウエハ表面での反射強度を基準(100%)として規格化したものである。またTa、Ta<sub>N</sub>及びTaOの下層として用いられる、Si膜を最表面に持つMo/Si多層膜の反射率も併せて示した。なお、「rms」は、表面粗さの実効値(表面の凹凸分布の実効値)である。

【0045】ここで、DUV光は、反射型露光マスクの検査時に、マスクパターン寸法や形状の測定などのために反射型露光マスクの表面に照射されるものである。EUV用マスクの検査に用いられる光源波長はKrFレーザの波長である248nmやArFレーザの波長である193nmが使用される可能性が高い。上記の波長において、TaO膜よりも大きな平均表面粗さ(図中rms値)を持つTa、Ta<sub>N</sub>膜に比べ、TaO膜の反射率が低いことが分かる。この測定結果より上記の式(1)を用いてマスクコントラストを計算した結果を図5に示す。検査光源波長248nm、193nmにおけるMC値はTaOの膜が最も高くなっている。従って、マスクパターン観察時にコントラストの高い像を得ることができる。

【0046】上記のTa膜は大気放置後十分な時間が経過してから反射率を測定したものである。従って、Ta表面には大気中で自然酸化によりTaO膜が形成されているはずであるが、上記実施の形態のように、反応性スパッタ法により(酸素を含んだガス中で)意図的に酸化させたTa膜の方が反射率が低くなっている。

【0047】このように、意図的に形成されたTaO膜は、このTaO膜よりも表面粗さの大きなTa膜やTa<sub>N</sub>膜よりも表面反射率が低い。従って、TaO膜21からなるマスクパターン11を設けた第1の実施の形態の反射型露光マスクでは、Ta膜やTa<sub>N</sub>膜から成るマスクパターンを設けた反射型露光マスクよりも、DUV光による検査時のマスクコントラストを大きくすることができる。

【0048】また、マスクパターンの表面粗さを大きくすることなく、マスクパターンの表面反射率を低減させることができるため、マスクパターンの膜厚ムラの増大によってEUVリソグラフィにおける解像度に悪影響を

及ぼすことはない。

【0049】なお、上記第1の実施の形態では、吸収体膜としてTaOで形成されたものを用いたが、代りにタンタル合金を酸化処理することにより形成された膜、或いは、TaO膜、Ta<sub>N</sub>膜を酸化処理することにより形成された膜、タンタル合金を酸化処理することにより形成された膜の2種以上を積層した膜(積層後に酸化しても良く、酸化した膜を順次積層したもので良い)で形成されたものを用いても良い。

【0050】なお、タンタル合金を酸化した膜、言換えれば、タンタル合金の酸化膜(酸化タンタル合金膜)としては、例えば、Ta/Ge合金の酸化膜、Ta/Si合金の酸化膜、Ta/B合金の酸化膜などがある。

【0051】このように、TaO膜以外の、上記のようなTaOを主成分とする膜を用いた場合にも上記と同様の効果がある。特許請求の範囲で、「少なくとも主として酸化タンタルで形成された」と言うのは、酸化タンタルのみで形成された場合と主として酸化タンタルで形成された場合とを含む。同様に、「少なくとも主としてタンタルで形成された」と言うのは、タンタルのみで形成された場合と主としてタンタルで形成された場合とを含む。

【0052】以上のように第1の実施の形態の反射型露光マスクによれば、TaOを主成分とする膜からなるマスクパターン11を形成したことにより、膜応力を小さくしてマスクパターンの位置精度を高め、またマスクパターンの表面反射率を従来よりも低減することができる。また、マスクパターンの表面粗さを大きくすることなく、マスクパターンの表面反射率を低減させることができるため、EUVリソグラフィにおける解像度に悪影響を及ぼすことはない。

【0053】第2の実施の形態

図6は本発明の第2の実施の形態によるEUVリソグラフィ用反射型露光マスクの断面構造図である。なお、図6において、図1と同じものには同じ符号を付してある。

【0054】図6のように、第2の実施の形態の反射型露光マスクは、下地基板1上に多層膜2を形成し、この多層膜2上に、その表面近傍部分即ち表層22bがTaOで形成された金属膜22からなるマスクパターン12を形成したものである。表面近傍部分以外の部分、即ち底面近傍部分即ち下層22aは本例ではTaで形成されている。

【0055】この第2の実施の形態では、金属膜22は、多層膜2上に形成したTa膜の表面近傍部分を酸化させる処理を施すことにより形成されたものである。

【0056】Ta膜に酸化処理を施すことにより形成された金属膜22においては、酸化により形成されたTaO層22bと酸化されずに残ったTa層22aとの境界は明確ではないが、表面を含む上層に、Ta層よりもE

UV光に対する反射率が低いTaO層が存在し、底面を含む下層に、TaO層よりもEUV光に対する吸収能が大きいTa層が存在していることが重要である。

【0057】図7は本発明の第2の実施の形態によるEUVリソグラフィ用反射型露光マスクの製造工程を説明する図である。なお、図7において、図2と同じものには同じ符号を付してある。

【0058】まず、図7(a)のように、第1の実施の形態と同じようにして、下地基板1上にスパッタリング法などによって多層膜2を形成する。

【0059】次に、図7(b)のように、多層膜2上にスパッタリング法またはCVD法によってマスク材料膜としてTa膜22cを形成する。

【0060】次に、図7(c)のように、Ta膜22cに酸化処理を施すことによってTa膜22cの表層にTaO層22bを形成する。上記の酸化処理は、酸素を含むガス雰囲気中での熱処理やプラズマ処理などによる。

【0061】図7(b)および図7(c)の工程により、表層にTaO層22bを有し、このTaO層22bの下層にTa層22aを有するマスク材料膜22が形成される。

【0062】なお、これ以降のマスク材料膜22をパターンニングし、金属膜22からなるマスクパターン12を形成する工程は、図2(c)および図2(d)と同じである。

【0063】このようにして形成された、表層にTaO層22bを有し、このTaO層22bの下層にTa層22aを有するマスクパターン12は、TaO膜のみからなる第1の実施の形態のマスクパターン11よりもEUV光に対する吸収能が増大する。これは、Ta層のEUV光に対する吸収能が、TaO層のEUV光に対する吸収能よりも大きいことによる。このため、上記構造のマスクパターン12を設けた第2の実施の形態の反射型露光マスクでは、第1の実施の形態の反射型露光マスクよりも、さらにマスクコントラストを高くすることができる。以下、この点につき、図8及び図9を参照して説明する。

【0064】まず、上記のようにして形成された吸収体膜（金属膜）では、TaO層のみで形成された膜（第1の実施の形態の膜）に比べEUV光に対する吸収能が大きい。これは、膜の密度と構成元素の吸収係数の違いによる。

【0065】図8はタンタル（Ta）、酸化タンタル（TaO）を成膜した時の膜厚と重量を測定し、密度を計算した結果の例である。また、参考までに窒化タンタル（Ta<sub>2</sub>N<sub>5</sub>）についても同様の計算結果を示す。吸収体のEUV光の吸収能は、同じ膜厚であれば膜密度が低くなると吸収能は低下する。

【0066】図9は、タンタル、酸素のEUV光に対する吸収係数（f<sub>2</sub>）を示す。また、参考までに窒素につ

いても同様の吸収係数（f<sub>2</sub>）を示す（"Atomic Data and Nuclear Data Table, vol. 54, No. 2, July 1993"より引用）。この値が大きいほどEUV光の吸収が大きいことを示すが、タンタルに比べ窒素や酸素は小さい。従って吸収体としての能力はTaよりもTa<sub>2</sub>N<sub>5</sub>やTaOの方が低くなる。図6のような構造では、下層22aをTaで形成することによりEUV光の吸収能を高めることが可能となり、かつ表層をTaOで形成することによりDUV光に対する表面反射率を低下させることができる。これにより、吸収体のない非パターン部であるSi表面からの反射率との差を大きくすることが可能となる。

【0067】以上のように第2の実施の形態の反射型露光マスクによれば、Ta膜の表面近傍部分を酸化させる処理を施すことにより形成されたTaO層22bと、その下にあるTa層22aとでを有する金属膜22によってマスクパターン12を形成したことにより、EUV光に対するコントラストを向上させることができる。また、マスクパターンの表面粗さを大きくすることなく、マスクパターンの表面反射率を低減させることができるため、EUVリソグラフィにおける解像度に悪影響を及ぼすことはない。

【0068】なお、上記第2の実施の形態では、Ta膜の酸化処理により形成された、表層にTaO層を有し、このTaO層の下層にTa層を有する構造の金属膜を吸収体膜として用いたが、Ta<sub>2</sub>N<sub>5</sub>膜やTa合金膜の表面近傍部分を酸化することにより形成された膜、或いはTa膜、Ta<sub>2</sub>N<sub>5</sub>膜、Ta合金膜の2種以上を積層した膜の表面近傍部分を酸化することにより形成された膜を吸収体膜として用いても良い。

【0069】第3の実施の形態

図10は本発明の第3の実施の形態によるEUVリソグラフィ用反射型露光マスクの断面構造図である。なお、図10において、図6と同じものには同じ符号を付してある。

【0070】図10のように、第3の実施の形態の反射型露光マスクは、下地基板1上に多層膜2を形成し、この多層膜2上に、Ta膜23aとTaO膜23bを順次積層させた金属膜23からなるマスクパターン13を形成したものである。このように、第3の実施の形態では、金属膜23は、多層膜2上にTa膜23aを形成し、このTa膜23a上にTaO膜23bを積層することにより形成されたものであり、表層にTaO膜23bを有し、このTaO膜23bの下層にTa膜23aを有する構造である。

【0071】Ta膜23a上にTaO膜23bを積層することにより形成される金属膜23においては、Ta膜23aの膜厚およびTaO膜23bの膜厚を制御することが容易であるとともに、Ta膜23aおよびTaO膜23bの膜厚を均一にすることができる。



【0072】図11は本発明の第3の実施の形態によるEUVリソグラフィ用反射型露光マスクの製造工程を説明する図である。なお、図11において、図2と同じものには同じ符号を付してある。

【0073】まず、図11(a)のように、第1の実施の形態と同じようにして、下地基板1上にスパッタリング法などによって多層膜2を成膜させる。

【0074】次に、図11(b)のように、多層膜2上にスパッタリング法またはCVD法によって、マスク材料膜を構成するTa膜23aを形成する。

【0075】次に、図11(c)のように、Ta膜23a上にマスク材料膜を構成するTaO膜23bを形成する。TaO膜23bは、TaOターゲットを用いたスパッタリング法、Taターゲットを用いてスパッタリングする際に酸素ガスを混合した反応性スパッタリング法、CVD法などによって形成される。

【0076】図11(b)および図11(c)の工程により、Ta膜23a上にTaO膜23bを積層した構造のマスク材料膜23(表層にTaO膜23bを有し、このTaO膜23bの下層にTa層23aを有するマスク材料膜23)が形成される。

【0077】なお、これ以降のマスク材料膜23をパターンニングし、マスクパターン13を形成する工程は、図2(c)および図2(d)と同じである。

【0078】このようにして形成された、表層にTaO膜23bを有し、このTaO膜23bの下層にTa膜23aを有するマスクパターン13は、TaO膜のみからなる第1の実施の形態のマスクパターン11よりもEUV光に対する吸収能が増大する。このため、上記構造のマスクパターン13を設けた第3の実施の形態の反射型露光マスクでは、第1の実施の形態の反射型露光マスクよりも、さらにマスクコントラストを高くすることができる。

【0079】さらに、Ta膜上にTaO膜を積層することでTa/TaO積層構造のマスク材料膜23を形成する第3の実施の形態では、Ta膜を酸化処理することでTa膜の表層にTaO層を設けたマスク材料膜22を形成する第2の実施の形態よりも、Ta膜23aおよびTaO膜23bの膜厚を、高い均一性で、任意の値に容易に制御することが可能である。これにより、所望のEUV光吸収能を有するマスクパターンを容易に形成することが可能となる。

【0080】以上のように第3の実施の形態の反射型露光マスクによれば、Ta膜23a上にTaO膜23bを積層することにより形成されたTaO膜23bとTa膜23aの積層構造を有する金属膜23によってマスクパターン13を形成したことにより、EUV光に対するコントラストを向上させることができる。また、マスクパターンの表面粗さを大きくすることなく、マスクパターンの表面反射率を低減させることができるため、EUV

リソグラフィにおける解像度に悪影響を及ぼすことはない。

【0081】さらに、マスク材料膜23をTa/TaO積層構造としたことにより、Ta膜23aおよびTaO膜23bの膜厚を、高い均一性で任意の値に容易に制御することが可能となるため、所望のEUV光吸収能を有するマスクパターンを容易に形成することができる。

【0082】なお、第3の実施の形態では、Ta膜上にTaO膜を積層した構造の金属膜を吸収体膜として用いたが、下層としては、Ta膜の外にTa<sub>N</sub>膜やタンタル合金膜、これらの2種以上から成る積層膜を用いることができ、表層としては、TaO膜の外に酸化タンタル合金膜、窒化タンタルを酸化することにより形成した膜を用いることができる。

【0083】なお、上記の第1、第2及び第3の実施の形態では、多層膜2として、Si/Mo膜を用いているが、Si層の代わりに、Mo層との屈折率の差が大きい材料層、例えばベリリウム(Be)層を用いても良い。

【0084】第4の実施の形態

以下に説明する第4の実施の形態の半導体素子は、製造工程のウエハ工程に、上記第1ないし第3の実施の形態のいずれかの反射型露光マスクを用いたEUVリソグラフィ工程を含むことを特徴とする。従って、第4の実施の形態の半導体素子は、ウエハ工程における他の工程(CVD工程、スパッタリング工程、熱拡散工程、イオンインプラントレーション工程など、さらには、水銀ランプ光やエキシマレーザ光によるリソグラフィ工程)、および組立工程については、公知技術を用いて製造される。

【0085】図12は本発明の第4の実施の形態によるEUVリソグラフィ工程を説明する図である。図12のEUV露光装置は、「応用物理第68巻第5号520頁-526頁(1999)」(応用物理学会)に開示されたものである。この図12のEUV露光装置は、反射型マスクから反射されたEUV光像を、EUVリソグラフィ用フォトレジスト(EUV領域に感光性を有するポジタイプまたはネガタイプのフォトレジスト)が塗布された半導体ウエハ上に縮小投影し、上記フォトレジストをEUV露光するものであり、防振台51と、チャンバ52と、基板53と、EUV光源54と、反射鏡55a、55bにより構成される光源光学系と、反射鏡56a、56b、56c、56dにより構成される縮小投影光学系と、マスク走査ステージ57と、ウエハ走査ステージ58とを備えている。

【0086】防振台51はチャンバ52の底面に設けられており、基板53は、防振台51に載せられてチャンバ52内に設けられている。基板53上には、マスク走査ステージ57およびウエハ走査ステージ58が設けられている。また、チャンバ52内において、光源光学系を構成する反射鏡55a、55bは、チャンバ52の側

面に設けられた光源入射口 52 a と、マスク走査ステージ 57 の間にそれぞれ配置されており、縮小投影光学系を構成する反射鏡 56 a, 56 b, 56 c, 56 d は、マスク走査ステージ 57 とウエハ走査ステージ 58 の間にそれぞれ配置されている。また、EUV 光源 54 は、光源入射口 52 a を設けたチャンバ 52 の側面位置に設けられており、光源入射口 52 a からチャンバ 52 内に EUV 光を入射させる。

【0087】EUV リソグラフィ工程（EUV 露光工程）においては、上記第 1 ないし第 3 の実施の形態のいずれかによる反射型露光マスク 41 が、パターン面（マスクパターンおよび非パターン領域が形成されている側の面）をウエハ走査ステージ 58 に対向させるようにして、マスク走査ステージ 57 に垂直にセットされる。また、EUV リソグラフィ用フォトレジストが塗布された半導体ウエハ 42 が、レジスト塗布面をマスク走査ステージ 57 に対向させるようにして、ウエハ走査ステージ 58 に垂直にセットされる。

【0088】EUV 光源 54 からチャンバ 52 内に入射した EUV 光は、光源光学系の反射鏡 55 a, 55 b でそれぞれ反射され、反射型マスク 41 のパターン面にほぼ垂直に入射する。反射型マスク 41 においては、マスクパターンに入射した EUV 光はマスクパターンで吸収され、非パターン領域に入射した EUV 光は反射される。これにより、反射型マスク 41 は、EUV 光が入射するパターン領域に応じた EUV 光像を反射する。反射型マスク 41 で反射された EUV 光像は、縮小投影光学系の反射鏡 56 a, 56 b, 56 c, 56 d で順次反射されるとともに、縮小投影光学系により画角が縮小され（例えば 10:1 あるいは 4:1）、半導体ウエハ 42 に塗布されたフォトレジスト表面に達する。これにより、半導体ウエハ 42 のフォトレジストは、反射型マスク 41 の上記パターン領域を縮小投影した EUV 光像により露光される。反射型露光マスク 41 の位置（EUV 光源 54 からの EUV 光が入射するパターン領域）は、マスク走査ステージ 57 により走査され、これに応じて、半導体ウエハ 42 の位置は、ウエハステージ 58 により走査される。このようにして、反射型マスク 41 に形成されているパターンによる EUV 光像により、上記フォトレジストが露光される。

【0089】EUV 露光が終了した半導体ウエハ 42 は現像され、これにより、半導体ウエハ 42 上に EUV リソグラフィによるレジストパターンが形成される。このあと、レジストパターンが形成された半導体ウエハ 42 に対し、上記レジストパターンをエッチングマスクとしてレジストパターンの下に形成された絶縁膜または金属膜をドライエッチングするエッチング工程、あるいは上記レジストパターンをイオンインブランテーションマスクとするイオンインブランテーション工程などが実施される。さらに、一連のウエハ工程を終了した半導体ウエ

ハ 42 に対し、ダイシング工程をはじめとする組立工程が実施され、半導体素子ができあがる。

【0090】上記の EUV 露光工程に用いた上記第 1 ないし第 3 の実施の形態のいずれかの反射型露光マスクは、半導体ウエハ 42 上に従来よりも微細なレジストパターン（例えば幅が 100 [nm] 程度の極微細パターン）を高精度に形成することができる。これにより、半導体ウエハ 42 に従来よりも微細な加工（例えば 100 [nm] 程度の極微細加工）を施すことが可能となるため、半導体素子の回路集積度を高くすることができる。

【0091】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の反射型露光マスクによれば、少なくとも表層が TaO のみで又は主として TaO で形成された膜を吸収体（マスクパターン）とする。即ち、吸収体全体を TaO で形成するか、或いは Ta 膜、TaN 膜、又は Ta を主成分とする Ta 合金膜（Ta/Ge 合金膜、Ta/Si 合金膜、Ta/B 合金膜など）の上に TaO のみで又は主として TaO で形成された層を配することによって、吸収体応力変化によるマスクパターン位置ずれを抑制することができ、且つマスクパターン検査時に用いられる DUV 光に対する反射率を Ta や TaN に比べ低減させることができ、吸収体のない非パターン部表面（Si）からの反射率との差を大きくすることができる。その結果、マスクパターン検査時にパターン部と非パターン部とのコントラストが向上する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の第 1 の実施の形態による EUV リソグラフィ用反射型露光マスクの断面構造図である。

【図 2】 本発明の第 1 の実施の形態による EUV リソグラフィ用反射型露光マスクの製造工程を説明する図である。

【図 3】 反応性スパッタ法により成膜した Ta 膜及び TaO 膜の大気中での応力の経時変化を示した図である。

【図 4】 DUV 光に対する Ta、TaN 及び TaO 膜の表面反射率の測定結果を示した図である。

【図 5】 Ta 膜、TaN 膜、TaO 膜についてのマスクコントラスト値の計算結果を示す図表である。

【図 6】 本発明の第 2 の実施の形態による EUV リソグラフィ用反射型露光マスクの断面構造図である。

【図 7】 本発明の第 2 の実施の形態による EUV リソグラフィ用反射型露光マスクの製造工程を説明する図である。

【図 8】 タンタル（Ta）、酸化タンタル（TaO）、窒化タンタル（TaN）を成膜した時の膜厚と重量を測定し、密度を計算した結果の例を示す図である。

【図 9】 タンタル、酸素、窒素の EUV 光に対する吸収係数（ $f_2$ ）を示す図表である。

【図 10】 本発明の第 3 の実施の形態による EUV リ

ソグラフィ用反射型露光マスクの断面構造図である。

【図11】 本発明の第3の実施の形態によるEUVリソグラフィ用反射型露光マスクの製造工程を説明する図である。

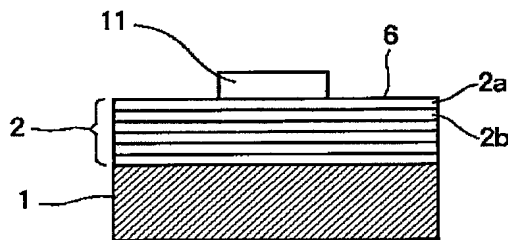
【図12】 本発明の第4の実施の形態によるEUVリソグラフィ工程を説明する図である。

【図13】 従来のEUVリソグラフィ用反射型露光マスクの断面構造図である。

【図14】 従来のEUVリソグラフィ用反射型露光マスクの製造工程を説明する図である。

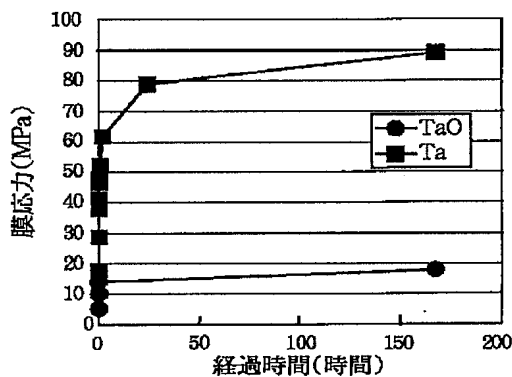
\*10

【図1】



第1の実施の形態の反射型露光マスク

【図3】



Ta 及び TaO 膜ストレスの経時変化

【図9】

	f2
Ta	9.01
N	1.6
O	2.77

Ta、N、O の f2 値

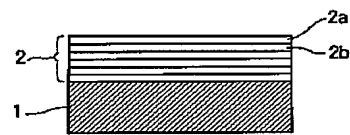
\*【図15】 EUVリソグラフィ用反射型露光マスクの検査工程を説明する図である。

【符号の説明】

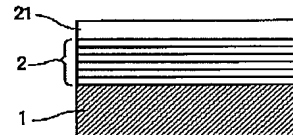
1 下地基板、 2 多層膜、 11, 12, 13 マスクパターン、 21, TaO膜、 22 マスク材料膜、 22a Ta層、 22b TaO層、 22c Ta膜、 23 マスク材料膜、 23a Ta膜、 23b TaO膜、 41 反射型露光マスク、 42 半導体ウエハ。

【図2】

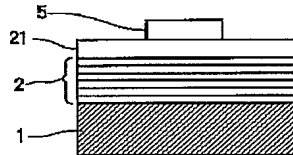
(a)



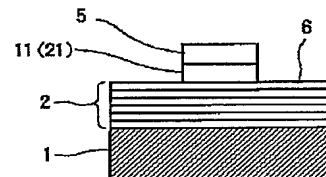
(b)



(c)



(d)

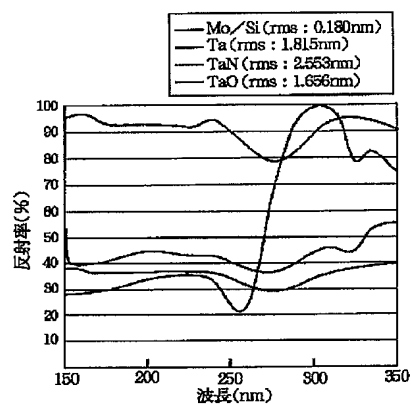


【図5】

	rms	反射率		MC	
	(nm)	248nm	193nm	248nm	193nm
Mo/Si	0.18	91.94	92.94		
Ta	1.815	41.27	44.08	37.76	35.71
TaN	2.553	34.70	36.51	44.94	43.59
TaO	1.656	26.88	32.45	54.53	48.24

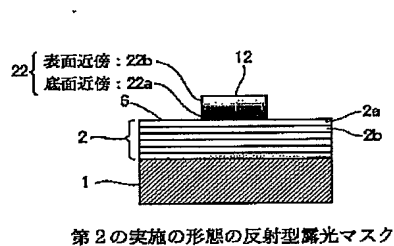
マスクコントラスト計算結果

【図4】

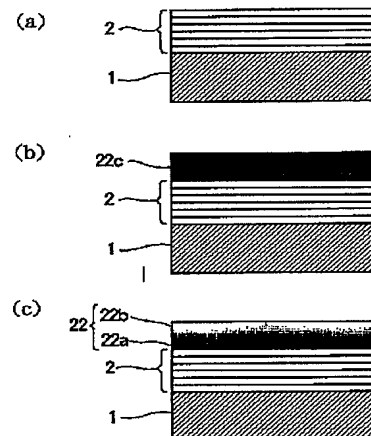


DUV光領域での反射率

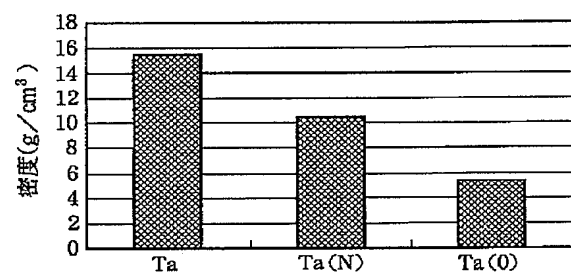
【図6】



【図7】

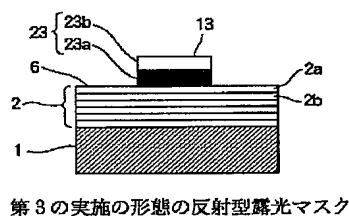


【図8】

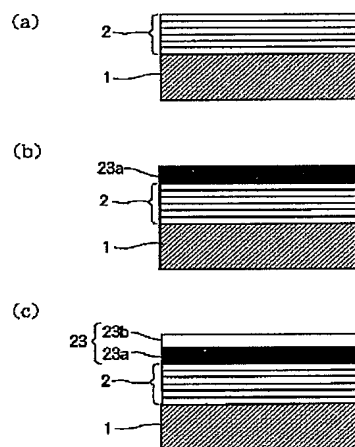


Ta合金膜の膜密度測定結果例

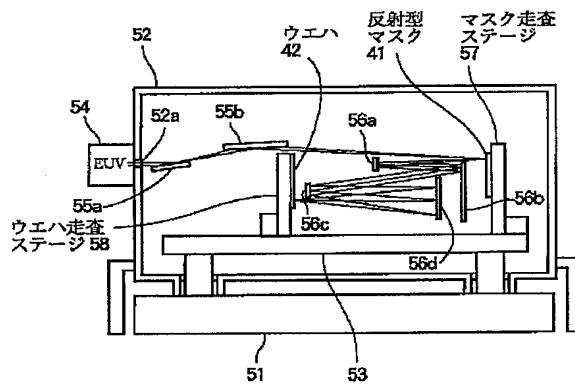
【図10】



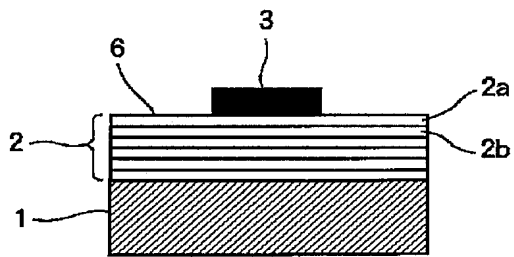
【図11】



【図12】

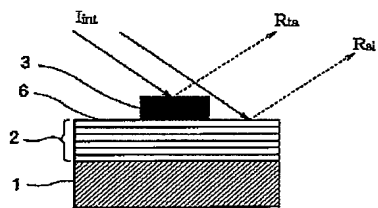


【図13】



従来の反射型露光マスク

【図15】



【図14】

